

**Resumen**

El *Proceso ecológico-fotosintético* (Patente nº 8901368, C.S.I.C.), técnica de bajo coste cuya única fuente energética es la radiación solar y de gran simplicidad de funcionamiento, se fundamenta en el desarrollo ecológico de diferentes comunidades de microorganismos para evitar las interacciones negativas entre ellos, y se encuentran inmovilizados en silicatos arcillosos micronizados.

En el presente trabajo se desarrolla el seguimiento y estudio de una planta biológica integral instalada en una granja de cría y engorde porcino, desde Octubre de 1993 a Junio de 1995. Se obtiene una elevada depuración del agua residual a muy bajo coste, lo que la hace ideal para su uso en pequeñas granjas

**Palabras clave:**

Proceso fotosintético, Eliminación nutrientes, Lagunaje, Canales.

**Abstract**

*Ecological-photosynthetic system for the treatment of swine wastewater in farm.*

The *Ecological-Photosynthetic System* (Patent Nº 8901368, C.S.I.C.) is a low cost process of operational simplicity; his only energetic source is solar radiation. It is based on the ecological development of different communities of microorganisms in order to avoid negative interactions between them, immobilized on clayey support.

The present work went in pursuit of the study of an integral biological plant in a piggery farm, from October of 1993 to June of 1995. Its high purification performance and nil running costs make it ideal for treating wastewaters from small farms.

**Keywords:**

Photosynthetic process, Nutrient removal, Ponds, Channels.

# Proceso ecológico-fotosintético para la depuración de purines en granjas

Por: M.M. Durán Barrantes\*; P. Álvarez Mateos\*; F. Carta Escobar\*; F. Romero Guzman\* y J.A. Fiestas Ros de Ursinos\*\*

\* Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química, Universidad de Sevilla,

C/ Profesor García González, s/n, 41012-Sevilla. E-mail: mmduran@cica.es

\*\* Instituto de la Grasa, Avda. Padre García Tejero, 4, 41012-Sevilla

**1. Introducción**

Las consecuencias medioambientales que acarrear los purines constituyen, hoy por hoy, el principal problema de las explotaciones intensivas de crianza porcina, dada la dificultad para su depuración y eliminación. Según el Real Decreto 324/2000, del 3 de Marzo (B.O.E., 8 de Marzo del 2000) se regula el destino de los purines, ya sea para tratarlos en la misma granja de cerdo o en instalaciones preceptivamente registradas por la Administración autonómica.

Se realizaron distintos estudios en la búsqueda de alternativas prácticas para el ámbito del granjero y agricultor, durante el período 92-96, en la zona sur de la provincia de Sevilla donde se concentra la principal actividad agrícola y ganadera. Con el objeto de eliminar la elevada carga contaminante de los purines de cerdo, se desarrolla un tratamiento biológico denominado "Proceso ecológico-fotosintético", que se fundamenta en la creación de "nichos ecológicos", en los que se fa-

vorece el desarrollo de los microorganismos responsables de la depuración de dichos vertidos. Este proceso se desarrolla a partir de la Patente nº 8901368 (Abril 1989), propiedad del Consejo Superior de Investigaciones Científicas - Instituto de la Grasa (Sevilla) -, titulada "Procedimiento de inmovilización de microorganismos acuáticos en presencia de silicatos fibrosos y laminares".

El proceso "ecológico-fotosintético" presenta las siguientes peculiaridades: sólo utiliza para la depuración la energía proporcionada por la irradiación solar; elimina la totalidad de los compuestos malolientes; separa los sólidos en flotación y sedimentables; reduce los microorganismos fecales en el 99,98%; reduce la contaminación orgánica en el 90%; el efluente obtenido puede reutilizarse para la limpieza de la misma granja; disminuye la cantidad de sales minerales en el 90%; los residuos sólidos separados se utilizan directamente como fertilizantes, al obtenerse estabilizados

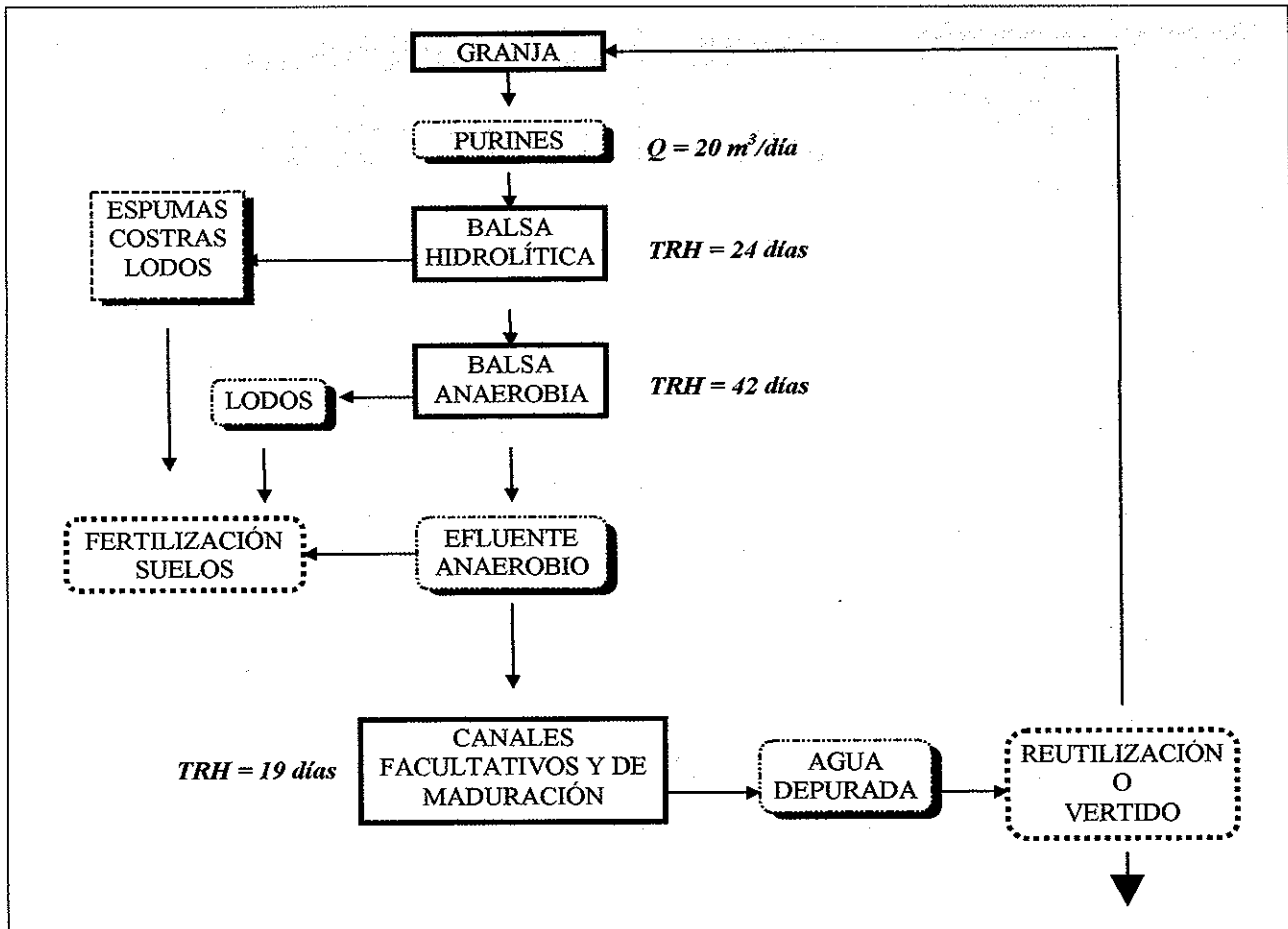


Fig. 1.- Esquema del proceso de depuración integral de los purines.

anaerobiamente y libres de malos olores.

Así pues, se considera que los resultados de la investigación para el desarrollo tecnológico del proceso pueden producir beneficios socio-económicos y científicos con su implantación en las zonas de clima benigno y soleado de España.

## 2. Objetivos

El tratamiento se realiza en cuatro fases secuenciales. Para ello se emplean balsas y canales cuyas dimensiones y volúmenes están en función de los tiempos de residencia hidráulicos, necesarios para el desarrollo óptimo de los microorganismos responsables de la depuración (de la Nöue y Basseres, 1989; Calzada et al., 1991; Yasuda, 1992). El diagrama de flujo del sistema depurador empleado en la granja "Santa Clara" se muestra en la **Figura 1**.

Los objetivos de cada una de las fases son:

**1ª fase o Balsa Hidrolítica.**- Destruye la emulsión de los purines, para facilitar por decantación y flotación la separación de las fracciones de mayor y menor densidad del medio acuoso.

**2ª fase o Balsa Anaerobia.**- Elimina, por degradación biológica anaerobia, la fracción de carácter orgánico.

**3ª fase o Canales Facultativos.**- Disminuyen su contenido en nitrógeno y fósforo por vía biológica.

**4ª fase o Canales de Maduración.**- Consiguen la depuración integral de los purines de cerdo mediante la aplicación de la fotosíntesis de las microalgas por irradiación solar.

La finalidad del proceso de investigación y desarrollo tecnológico que se expone a continuación es

profundizar en el estudio de los siguientes temas:

1. Estudio de la viabilidad del proceso de depuración anaerobia a 35 °C, a escala de laboratorio en reactores tipo tanque agitado con microorganismos fijados en soportes arcillosos. Se modeliza matemáticamente el sistema (ref. art. "Ensayos a escala de laboratorio para la depuración anaerobia de aguas residuales de granjas porcinas" M.M. Durán et al., de próxima publicación en el nº 203 de la revista Tecnología del Agua).
2. Estudio de la variación de los diversos parámetros utilizados como medida de la capacidad de contaminación del agua residual: pH, DQO, alcalinidad, ácidos volátiles, nitrógeno amoniacal, sólidos totales minerales y volátiles, sólidos en suspensión mine-

rales y volátiles (APHA, 1992) y ortofosfatos (Murphy y Riley, 1963). Los pigmentos fotosintéticos se extrajeron con metanol (Marker y Jinks, 1982) y la concentración de clorofila "a" se calcula con la fórmula de Talling y Drivers (Vollenweider, 1969).

3. Identificación de los microorganismos fotosintéticos, más específicos.
4. Influencia que sobre el proceso puede ejercer el aumento de caudales, a causa de lluvias persistentes.
5. Influencia de la evaporación natural del agua, por la acción del sol y del viento, sobre el desarrollo del proceso.
6. Desinfección y reutilización del agua depurada para la limpieza de la granja.

### 3. Descripción de la planta de demostración

Se estudia la evolución del sistema ecológico-fotosintético instalado en el cortijo Santa Clara (término municipal de Carmona, Sevilla), con 2.000 cabezas de cerdo ibérico y un caudal de vertido de 20 m<sup>3</sup>/d. Posee una primera balsa hidrolítica de TRH 24 días, seguida de una balsa anaerobia de TRH 42 días, ambas con hormigón impermeabilizado con láminas de polietileno de alta densidad. El efluente así depurado vierte por gradiente, como en las balsas anteriores, a un sistema de 8 canales de actividad facultativa y de maduración, progresivamente, provistos de corta-corrientes para favorecer la formación de los nichos ecológicos e igualmente impermeabilizados, con un TRH total de 19 días.

En la planta de Santa Clara no se ha escogido un TRH superior a 20 días en la fase de los canales debido a que las horas de luz, la irradiación y las temperaturas medias son elevadas con respecto a otras zonas de España, donde se emplean hasta 50 días de TRH.

Transcurridos 2 veces el TRH de la balsa anaerobia se procede al

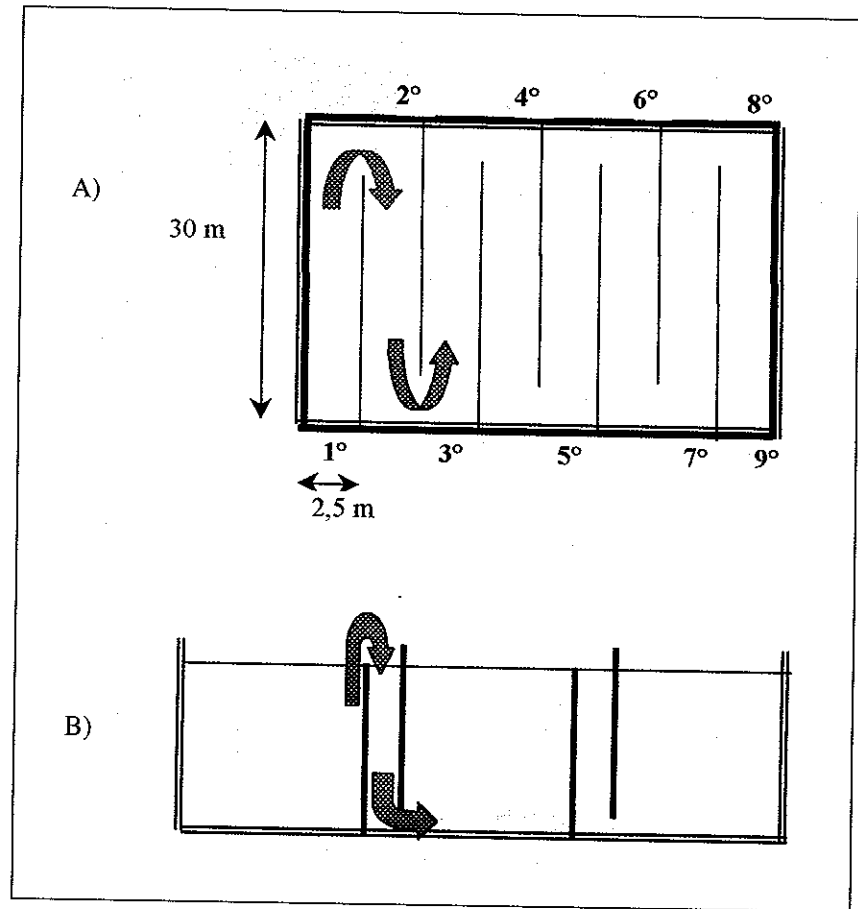


Fig. 2.- A) Vista superior de los canales facultativos (puntos 1 y 2) y de maduración (puntos 3 a 9). B) Detalle de los "corta-corrientes" en un corte frontal de los canales.

muestreo, durante 18 meses, en un total de 13 puntos estratégicos y se caracterizan los efluentes (APHA, 1992). Basándonos en los resultados obtenidos en laboratorio (Durán et al., 1999), en la balsa anaerobia se emplea como soporte para retener los microorganismos la sepiolita natural, de bajo coste. También se utiliza sepiolita natural para la fijación de algas bentónicas en los canales de maduración, sobre la base de los estudios realizados por Mínguez y colaboradores (1991).

Se empleará la siguiente nomenclatura: EH, muestra de la entrada a la balsa hidrolítica; EA, entrada a la balsa anaerobia; SA, salida de la balsa anaerobia; 1º, 2º, 3º, 4º, 5º, 6º, 7º, 8º, puntos de muestra de los canales 1º al 8º; 9º, muestra a la salida de los canales, previo al depósito decantador (Figura 2).

### 4. Resultados y discusión

**Parámetros Físicos:** El sur de España, y más concretamente Sevilla, es conocido por los valores relativamente templados de sus temperaturas a lo largo del año (Tª media en invierno de 11,2 °C; 18,6° en primavera; 27,5° en verano y 22,4 °C en otoño).

En las balsas hidrolítica y anaerobia, la zona en que ocurre la principal reacción de degradación está entre los 2 y 4 m de profundidad, luego la estabilidad de su temperatura frente a las distintas condiciones atmosféricas está garantizada.

Sin embargo, la temperatura media del agua en los canales, en invierno y tomada a unos 50 cm de profundidad durante el día, es de 12 °C. Y en verano, en igualdad de condiciones, el valor medio resulta de 21 °C.

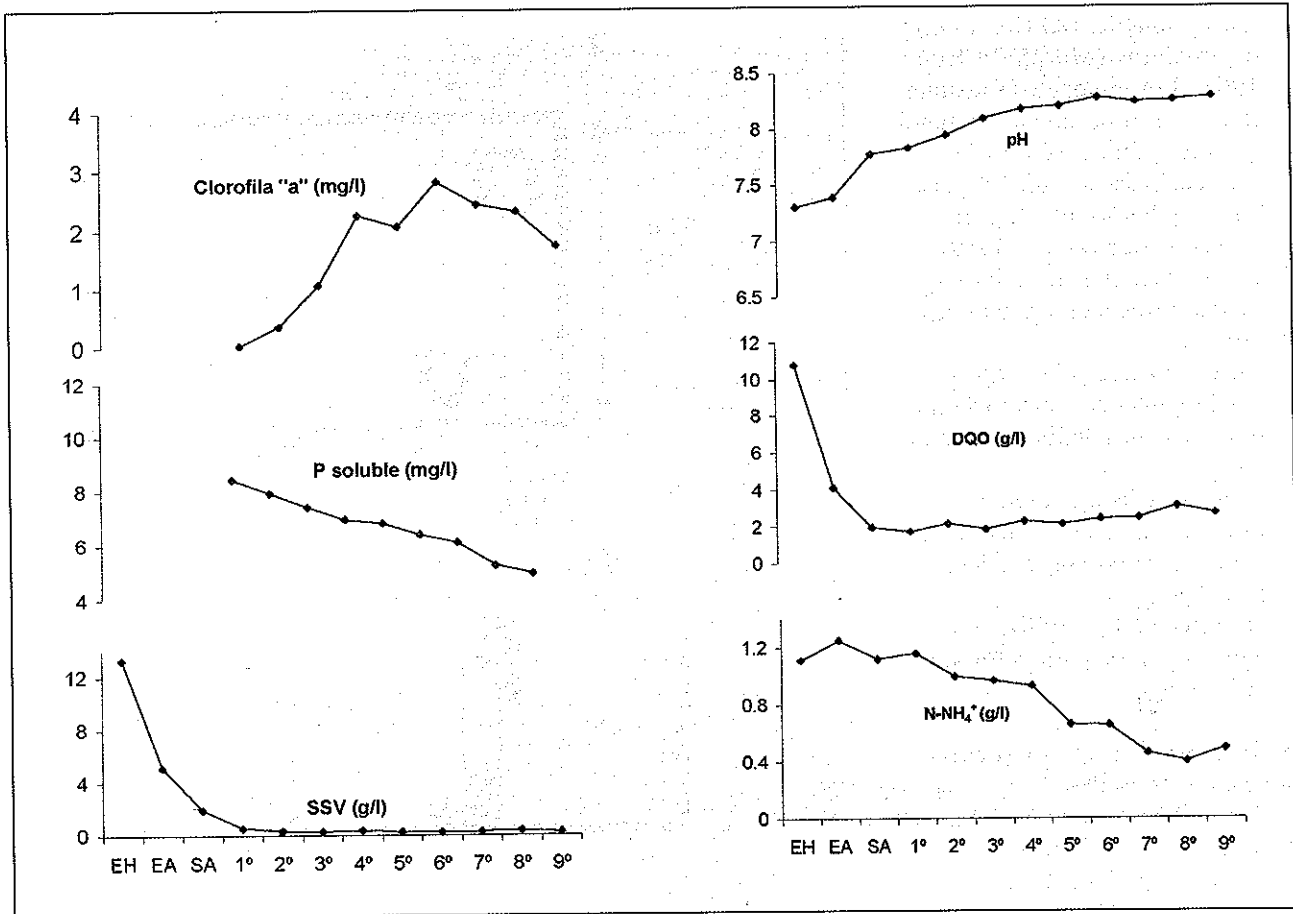


Fig. 3.- Valores medios de SSV, Clorofila "a", ortofosfatos, pH, DQO y N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en cada punto de muestreo, desde que el sistema se encuentra estabilizado.

Otra característica climatológica de la provincia de Sevilla, junto a sus elevadas temperaturas en el verano, es el caluroso viento de poniente, característicamente fuerte en la zona de la vega de Carmona, en donde se encuentra ubicado el cortijo Santa Clara. Este tipo de viento es importante en verano, y en época de sequía, como la pasada en los veranos del 94 y 95. Por ello, se mide la evaporación sufrida durante los meses de más calor, Julio y Agosto, encontrándose que el valor medio varía entre 1,5 y 2,5 cm/día.

**Parámetros Químicos:** En la Figura 3 se muestran los valores medios de los parámetros químicos más significativos, respecto a los distintos puntos de muestra fijados en el sistema. Estos valores corresponden al período de estabilización del sistema, alcanzado cuando transcurre 4 veces el TRH total del

sistema integral de depuración. A continuación se evalúan estos parámetros en función de cada fase depurativa del tratamiento integral.

**Fase Hidrolítica.-** A partir de la estabilización del sistema, los valores medios del pH aumentan ligeramente desde EH a la EA, hasta 7,4. Los SSV se reducen en un 61,4% al producirse su separación por decantación y flotación, y el rendimiento en eliminación de la materia orgánica es del 62%, obteniéndose un valor medio de 4 g/l, como DQO. Debido al proceso de hidrólisis, se observa que la concentración de ion NH<sub>4</sub><sup>+</sup> incrementa ligeramente.

**Fase Anaerobia.-** El efluente líquido de la fase hidrolítica pasa a una balsa en la que se favorece el desarrollo de los microorganismos responsables de transformar estas sustancias solubles en "biogás". El pH es de 7,8, algo elevada para un

proceso anaerobio, pero es debido a la elevada concentración de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. La reducción de los SSV conseguida a la salida del proceso anaerobio es ahora de un 85,5%, lo cual puede ser debido al silicato micronizado que se utiliza en esta balsa para fijar los microorganismos anaerobios, el cual puede atrapar una gran proporción de sólidos en suspensión que, por el propio sobredimensionado de la balsa, son hidrolizados y degradados finalmente a CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>.

La concentración de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> disminuye en comparación con el efluente de la balsa hidrolítica, lo que puede deberse a la asimilación del mismo por las bacterias anaerobias, para su crecimiento, y a la retención por absorción en el silicato utilizado para fijar las bacterias, además de la proporción correspondiente que pasa a la atmósfera como NH<sub>3</sub> en función del pH y de la temperatura.

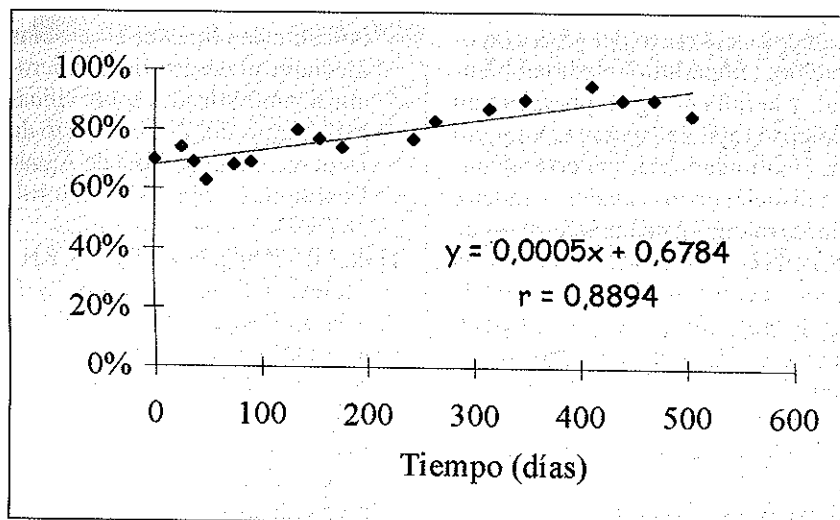


Fig. 4.- Evolución de la eficacia depurativa en el sistema de balsas hidrolítica-anaerobia.

En la **Figura 4** se muestra la evolución de la eficacia depurativa del sistema a la salida de la balsa anaerobia. Su aumento es gradual hasta alcanzar un 95% de depuración.

**Canales Facultativos.**- En estos canales se debe producir la oxidación de cierta proporción de  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NO}_3^-$ , para posteriormente, por el proceso de desnitrificación formarse nitrógeno gaseoso (Winkler, 1998). La disminución media obtenida en el proceso es de un 22%, y un pH próximo a 8,0. La reducción de fósforo soluble es del 12%, a la vez que se observa una pequeña formación de algas (0,35 ppm como clorofila "a").

**Canales Fotosintéticos.**- Los valores medios de pH a lo largo de los canales están próximos a 8,3, elevándose gradualmente del 3<sup>er</sup> al 9<sup>o</sup> canal por consumo de  $\text{CO}_2$  y de  $\text{HCO}_3^-$  por las microalgas. La concentración media de SSV en el efluente final es de 219 mg/l.

En estos canales se fomenta el desarrollo de microalgas bentónicas, en presencia de sepiolita para evitar su pérdida con el efluente y activar la acción simbiótica de las comunidades bacterias-algas. Las algas bentónicas tienen la capacidad de tomar el nitrógeno atmosférico, cuando el medio en el que se encuentra carece de otra fuente ni-

trogenada en forma oxidada, por lo cual, el crecimiento de este tipo de algas está limitado por la existencia de fósforo soluble.

En la **Figura 5** puede apreciarse que, conforme madura el proceso fotosintético con el tiempo de funcionamiento de la planta, la eliminación de fósforo soluble aumenta progresivamente, alcanzándose un 87% al final del seguimiento de la planta. Las concentraciones medias de clorofila incrementan notablemente del canal 3<sup>o</sup> al 6<sup>o</sup>, disminuyendo hacia el 9<sup>o</sup> punto, lo que corresponde con la sobredimensión del sistema. Se confirma que, las al-

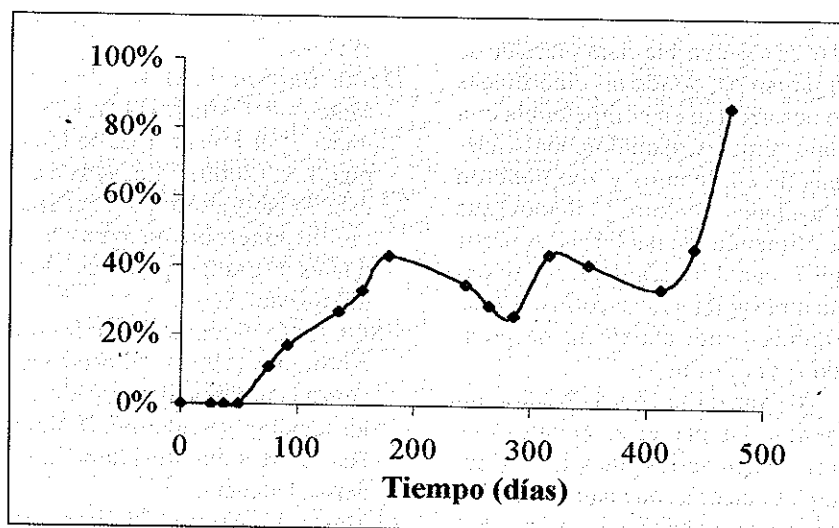


Fig. 5.- Porcentaje de fósforo soluble eliminado con el tiempo.

*Las algas  
crecen con  
consumo  
de fósforo*

gas crecen con consumo de fósforo, ya observado previamente, como por el consumo de  $\text{NO}_3^-$ , lo que se deduce de la disminución en la concentración de  $\text{NH}_4^+$ , de hasta un 68% de media en todo el proceso.

El efluente así depurado pasa por un depósito de 20 m<sup>3</sup> que actúa como decantador (caso de querer utilizar los sólidos constituidos por algas bentónicas en fermentación de suelos, alimentación animal, etc.), o bien se utiliza para desinfectar el agua obtenida, como ocurrió en Santa Clara, mediante la adición de hipoclorito cálcico (24 horas), para su empleo en el lavado de las cochineras o en los equipos de refrigeración de las mismas.

**Ecología evolutiva microbiana:** La utilización de las microalgas en el postratamiento de los efluentes

procedentes de la laguna anaerobia disminuye la materia orgánica residual y el contenido en fósforo y nitrógeno (Winkler, 1998; W.H.O., 1987). En los canales se crea un lecho de silicato micronizado (sepíolita), en el que se desarrollan, por la acción de la luz del sol, microalgas bentónicas cianofíceas del género "Phormidium", que quedan adheridas al silicato, formando un lecho estable por encima del cual circula el agua a depurar. Gracias a su actividad fotosintética se desprende el O<sub>2</sub> necesario para llevar a cabo la depuración, al mismo tiempo que asimilan parte del nitrógeno y fósforo que contiene dicha agua. Es de destacar que este género de microalgas es capaz de asimilar, directamente, los compuestos orgánicos de bajo peso molecular presentes en los efluentes anaeróbicos, además de que el proceso de depuración se puede realizar igualmente durante la noche, en ausencia de luz solar (Fiestas et al., 1988). La gran capacidad de las algas bentónicas para reducir la presencia de bacterias es debida, probablemente, a sus actividades antibióticas y tóxicas.

En el ámbito de los canales facultativos se desarrollan anélidos (familia tubificidae) y bacterias fotosintéticas del azufre (*Thiopoda rosea*) en competencia con algas verde-azuladas, crisofíceas (*Mucophara geophila*) y diatomeas (*Navicularia*) (Holt et al., 1994). Del canal 4° al 6° se observa una clara sucesión de organismos, donde las cianofíceas se desarrollan en competencia con algas verdes (*Chlamidomonas*), además de euglenales y zooplancton (flagelados incoloros y ciliados) que se alimentan de bacterias. A partir del 7° canal las algas verdes se encuentran aglomeradas formando una espuma debida al oxígeno desprendido por fotosíntesis.

Al avanzar la época de calor aumentan las bacterias coccas que forman agregarios planarios, así como las bacterias que dan coloración rojiza a la superficie de los canales, las cuales proliferan hasta el 5°-7°

canal. En el verano del 95 la evaporación, temperatura medioambiental, y la falta de agua, provocan un colapso total del sistema, aumento de la salinidad, de la materia orgánica disuelta en los canales, y muerte de los microorganismos aerobios en general (la precipitación media en la zona, según el Instituto Nacional de Meteorología, fue de 52,1 mm en invierno, 41,9 mm en primavera y 0 mm en verano, donde la temperatura máxima llegó a 42,2° C, con 353,2 horas de sol) (W.H.O., 1987).

### Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Ministerio de Educación y Ciencia por la concesión de una beca F.P.I. para financiar este trabajo. Igualmente, agradecer a la granja "Santa Clara" (Sevilla, España) su colaboración con la construcción de la planta de depuración, cuyo seguimiento ha posibilitado la realización de este trabajo.

### Bibliografía

- Calzada, J.F.; Zabala, J.; González, J.G. & Pineda, R. (1991). "Combined biological wastewater treatment anaerobic digestion and algal growth". Proc. 6th Int. Symp. on Anaerobic Digestion. Sao Paulo, Brasil, Mayo, 363-369.
- de la Nöue, J. & Basseres, A. (1989). "Biotreatment of anaerobically digested swine manure with microalgae". *Biol. Wastes*, 29:17-31.
- Duran Barrantes, M.M.; Álvarez Mateos, P.; Carta Escobar, F.; Romero, F. & Fiestas Ros de Ursinos, J.A. (2000). "Ensayos a escala de laboratorio para la depuración anaerobia de aguas residuales de granjas porcinas" *Tecnología del Agua*.
- ESQUENO. Asociación de Medio Ambiente (1990). "Aproximación a la problemática creada por los residuos ganaderos". II Simp. Hisp-Port. sobre Residuos Ganaderos, Palencia.
- Fiestas, J.A.; Álvarez, M.; Borja, R. & Perdiguero, S. (1988). "Postratamiento de efluentes anaerobios mediante el desarrollo de microalgas inmovilizadas sobre silicatos". Actas del 4° Seminario de Depuración Anaerobia de Aguas Residuales, Nov, Valladolid, 287-293.
- Holt, J.G.; Krigg, N.R.; Sneath, P.H.; Staley, J.T. & Williams, S.T. (1994). *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*. (9th edition). Ed. Williams & Wilkins.
- Marker, A.F.H. & Jinks, S. (1982). "The spectrophotometric analysis of chlorophyll-a and phaeopigments in acetona, ethanol and methanol". *Arch. Hydrobiol. Beih., Ergebn. Limnol.* 16:3-17.
- Mínguez-Mosquera, M.I.; Jarén-Galán, M.; Gandul-Rojas, B. & Fiestas-Ros de Ursinos, J.A. (1991). "Chlorophyll and carotenoid composition of the algal flora developed under immobilized conditions. Influence of the support". *Biomass and Bioenergy*, 1:347-353.
- Murphy, J. & Riley, J.P. (1963). "A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters". *Analyt. Chimic. Acta*, 21:31-35.
- Vollenweider, R.A. (1969). *Primary production in aquatic ecosystems-IBP Handbook 12*, 213. Blackwell Sci. Publ., Oxford and Edinburg.
- W.H.O. (1987). *Wastewater Stabilization Ponds. Principles of Planning and Practice*. WHO EMRO Technical Publication no. 10, World Health Organization, Regional Office for the Eastern Mediterranean, Alejandría.
- Winkler, M.A. (1998). *Tratamiento biológico de las aguas de desecho*. Ed. Limusa, México, 253-302.
- Yasuda, M. (1992). "Characteristics of the anoxic-aerobic submerged bed process with recirculation treating organic wastewater". II Int. Symp. on Waste Management Problems in Agro-industries. Estambul (Turkey), Sep. 281-288.